قلمرو علم

اصول بنیادین

اصول بنیادین

ده راهنما به واقعیت

فرانک ویلچک
برنده جایزه نوبل فیزیک ۲۰۰۴

ترجمه‌ی **تورج حوری**

انتشارات مازیار

سرشناسه	:	ویلچک، فرانک، ۱۹۵۱– م. Wilczek, Frank, 1951-
عنوان و نام پدیدآور	:	اصول بنیادین : ده راهنما به واقعیت/ فرانک ویلچک ؛ ترجمه‌ی تورج حوری.
مشخصات نشر	:	تهران: مازیار ، ۱۴۰۱.
مشخصات ظاهری	:	۲۰۸ ص. ۱۴/۵×۲۱/۵ س‌م.
فروست	:	قلمروعلم
شابک	:	۹۷۸-۶۲۲-۷۰۶۱-۳۵-۲
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Fundamentals: Ten Keys to Reality,2021
یادداشت	:	نمایه
موضوع		نسبیت خاص (فیزیک) Special relativity (Physics) واقعیت Reality
شناسه افزوده	:	حوری، تورج، ۱۳۴۱–، مترجم
رده‌بندی کنگره	:	QC۶
رده‌بندی دیویی	:	۵۳۰/۱۱
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۰۴۴۴۵۸

www.mazyarpub.ir
mazyarpub@yahoo.com

انتشارات مازیار

مقابل دانشگاه تهران، ساختمان ۱۲۹۶ (ظروفچی) طبقه اول، واحد ۴، تلفن ۶۶۴۶۲۴۲۱
ثبت علامت تجاری: ۳۵۳۴۲۴

اصول بنیادین: ده راهنما به واقعیت

فرانک ویلچک

ترجمه‌ی تورج حوری

ویراستار م. ک

صفحه‌آرایی مروا ک.

چاپ اول ۱۴۰۲

شمارگان ۱۲۰۰

لیتوگرافی سحر

چاپ و صحافی طیف‌نگار

شابک ۰–۲۶–۷۰۶۱–۶۲۲–۹۷۸

مواد اولیه این کتاب به صورت آزاد تهیه شده است.

فهرست مطالب

پیشگفتار: تولدی دوباره ۷
مقدمه ۱۵

بخش اول: آنچه وجود دارد

۱. فضا بسیار گسترده است ۲۵
۲. زمان زیادی وجود دارد ۴۹
۳. اجزاء تشکیل‌دهنده خیلی کمی وجود دارند ۶۵
۴. قوانین، انگشت‌شمار هستند ۹۱
۵. مقدار زیادی از انرژی و ماده وجود دارد ۱۱۷

بخش دوم: آغازها و پایان‌ها

۶. تاریخ کیهان کتابی باز است ۱۳۱
۷. پیچیدگی پدیدار می‌شود ۱۴۳
۸. چیزهای خیلی زیادتری برای دیدن هست ۱۴۹
۹. اسرار باقی می‌مانند ۱۶۳
۱۰. مکملیت گسترش‌دهنده‌ی ذهن است ۱۷۷

پسگفتار: سفری دراز تا خانه ۱۹۱
ضمیمه ۱۹۷
نمایه ۲۰۵

پیشگفتار: تولدی دوباره

این کتاب درباره درس‌های بنیادینی است که می‌توانیم از مطالعه جهان فیزیکی بیاموزیم. من افراد زیادی را ملاقات کرده‌ام که درباره‌ی جهان فیزیکی کنجکاو و مشتاق یاد گرفتن چیزی هستند که فیزیک مدرن درباره‌ی آن‌ها می‌گوید. آن‌ها ممکن است وکیل، دکتر، هنرمند، دانشجو، معلم، والدین یا مردم کنجکاو معمولی باشند. من سعی کرده‌ام پیام اصلی فیزیک مدرن را به ساده‌ترین شکل ممکن منتقل کنم اما بر سر دقت مصالحه نکرده‌ام. در نوشتن کتاب پیوسته دوستان کنجکاو و پرسش‌های آنان را در نظر داشته‌ام.

برای من این پرسش‌های بنیادین بسیار بیشتر از حقایق دقیق درباره‌ی نحوه‌ی کارکرد جهان فیزیکی را شامل می‌شود. مسلماً این حقایق، قدرتمند و به طرز عجیبی زیبا هستند اما سبک تفکری هم که به ما اجازه داد آن‌ها را کشف کنیم، یک دستاورد بزرگ است. توجه به این پرسش هم مهم است که این اصول بنیادین چه چیزی را درباره‌ی نحوه‌ی هم سرشت بودن ما انسان‌ها با تصویری بزرگ توصیه می‌کنند.

II

ده اصل جامع را به عنوان مبانی خود انتخاب کرده‌ام. هرکدام موضوع یک فصل را شکل می‌دهند. در بدنه‌ی هر فصل، مضمون فصل را از چشم‌اندازهای مختلف توضیح و مستندسازی می‌کنم و درباره‌ی پیشرفت آینده‌ی آن حدس‌های آگاهانه‌ای را مطرح می‌سازم. این حدس‌های آگاهانه مایه‌ی خوشی ماست و امیدوارم برای خواندن هیجان‌انگیز باشند. این‌ها همه به منظور رساندن پیام بنیادین دیگری هستند: اینکه فهم ما از جهان فیزیکی درحال تغییر و رشد و مانند موجودی زنده است. در جدا کردن خیال‌پردازی‌ها از واقعیت‌ها دقت کرده‌ام و در مورد واقعیت‌ها باید گفت که این ماهیت مشاهده و تجارب ما

است که به آن‌ها معنا می‌دهد. شاید به دلیل همین بنیادی‌ترین پیام بین همه است که بسیاری از جنبه‌های جهان فیزیکی را به صورتی بسیار عمیق درک می‌کنیم. آلبرت اینشتین می‌گوید «اینکه جهان قابل فهم است، به معجزه‌ای می‌ماند» یعنی در عین حال این کشفی بسیار دور از دسترس است.

دقیقاً به دلیل تعجب‌آور بودن آن، قابل فهم بودن جهان هستی باید نشان داده شود، نه اینکه فرض شود. متقاعد کننده‌ترین اثبات این است که فهم ما هرچند ناکامل، ما را بر آن می‌دارد که کارهای بزرگ و شگفت‌انگیز انجام دهیم.

در این تحقیق سعی می‌کنم شکاف‌های موجود در درک خود از جهان را بر تجربه‌های جدیدی طراحی کنم که مرزهای امکان را جابجا می‌کنند. در نوشتن این کتاب برای من، گامی به عقب گذاشتن و تامل و حیرت‌زدگی در بعضی از چیزهایی که نسل‌های دانشمندان و مهندسان، در همکاری خود در زمان و فضا که پیشاپیش انجام داده‌اند، مایه‌ی خوشحالی بوده است.

III

اصول بنیادین، عبارتی است که به جای بنیادگرایی دینی نیز به کار برده می‌شود، چون به پرسش‌های یکسانی می‌پردازد، لیکن آن‌ها را با توسل به واقعیت فیزیکی تجزیه و تحلیل می‌کند نه متون و سنت‌ها.

بسیاری از قهرمانان علمی من ــ گالیلئو گالیلئی، یوهان کپلر، ایزاک نیوتون، مایکل فارادی و جیمز کلرک مکسول، دینداران مسیحی بودند.(در این کار آن‌ها نمایندگان زمان و محیط اطراف خود بودند.) آنان می‌پنداشتند که با مطالعه کار خداوند می‌توانند به او راه یابند و او را احترام کنند. اینشتین، گرچه در معنای مرسوم آن مذهبی نبود اما رویکرد مشابهی داشت. او اغلب به خدا (یا «پیر مرد») چون کسی که یکی از مشهورترین نقل قول‌هایش را انجام داده بود اشاره می‌کرد: «خداوند حیله‌گر است، اما خبیث نیست.»

روح برنامه‌ی خطیر آنان، و برنامه‌ی من در اینجا، از تعصبات مشخص، دینی یا ضددینی فراتر می‌رود. دوست دارم آن را به این شکل بیان کنم: در مطالعه‌ی نحوه‌ی کارکرد جهان، نحوه‌ی عملکرد خدا را مطالعه می‌کنیم و در نتیجه یاد می گیریم که خدا چیست. با این روحیه می‌توانیم جستجوی معرفت را چون شکلی از ستایش و کشفیات خود را چون الهام، تفسیر کنیم.

IV

نوشتن این کتاب درک مرا از جهان تغییر داد. اصول بنیادین مانند یک شرح شروع شد اما به مکاشفه‌ای تغییر ماهیت داد. همین‌طور که در موضوع تامل می‌کردم، دو زمینه‌ی فراگیر به‌طور دور از انتظاری پدیدار شدند. روشنی و ژرفای آن‌ها مرا متحیر ساخت.

نخستینِ این زمینه‌ها فراوانی بود. جهان هستی وسیع است. البته یک نگاه به آسمان در شبی صاف کافی است تا به شما بگوید که فضای گسترده‌ای «آن بیرون» هست. وقتی پس از مطالعه‌ای دقیق‌تر ،اعداد را به اندازه آن ترجمه می‌کنیم، ذهن‌های ما به درستی دستخوش اعجاب می‌شود. اما بزرگی فضا تنها یک جنبه از فراوانی طبیعت است و اصلی‌ترین مولفه برای تجربه‌ی انسانی نیست.

اول از همه اینکه، به بیان فاینمن، «ضرورتاً فضای کافی وجود دارد.» هر یک از بدن‌های ما انسان‌ها شامل اتم‌های بسیار بیشتری از ستارگان موجود در جهان قابل رویت است و مغز ما تقریباً به اندازه‌ی ستارگان کهکشان، سلول عصبی دارد. جهان درون آن مکملی سزاوار برای جهان ماورای آن است.

از این نظر، زمان نیز مثل فضاست. زمانِ کیهانی گسترده است. کمیت زمان به سمت عقب تا رسیدن به لحظه‌ی مهبانگ و زمانی به کوچکی عمر انسان است. با این همه بحث خواهیم کرد که عمر انسان شامل لحظات خودآگاهی بسیار بیشتر از تاریخ جهان هستی بر حسب طول عمر ماست. به ما ثروت فراوانی از زمان درونی عطا شده است.

جهان فیزیکی نیز به همان نسبت، از نظر منابع بکر آفرینش و درک که تا کنون کشف نشده، سرشار است. علم آشکار می‌کند که جهان نزدیک ما، در شکل شناخته شده و قابل دسترس آن، شامل انرژی و ماده‌ی قابل استفاده‌ی بسیار بیشتری هست از آنچه که بشر اکنون به کار می‌گیرد. این درک به ما قدرت می‌دهد و جاه طلبی ما را بر می‌انگیزد.

فهم ما به تنهایی موفق می‌شود در چند لایه‌ی ابتدایی واقعیت وارد شود که به کمک بررسی علمی آشکار می‌شوند. برای مثال بینایی را در نظر بگیرید. حس بینایی ما وسیع‌ترین و مهم‌ترین دریچه را به جهان خارج می‌گشاید. اما بسیاری چیزها را نمی‌بیند! تلسکوپ‌ها و میکروسکوپ‌ها گنجینه وسیعی از

اطلاعات را در اختیار ما می‌گذارند که به وسیله نوری که به‌طور معمول و بدون شناسایی وارد چشم ما می‌شود، رمزگذاری می‌شود. علاوه بر این، بینایی ما به یک اکتاو از صفحه کلید نامحدود تابش الکترومغناطیسی محدود می‌شود ــ محدوده‌ی نور مرئی ــ که از یک سو به امواج رادیویی، ریزموج‌ها و امواج فروسرخ و از سوی دیگر به امواج ماوراءبنفش، پرتوهای X و گاما ادامه می‌یابد. حتی در اکتاو خودمان، بینایی رنگی ما مبهم است. در حالی‌که حواس ما در دریافت بسیاری از جنبه‌های واقعیت شکست می‌خورد، ذهن ما به ما اجازه می‌دهد که از محدودیت‌های طبیعی خود فراتر رویم. گسترش دروازه‌های ادراک، ماجراجویی بزرگ و ادامه‌داری است.

V

دومین موضوع این است که برای درست فهمیدن ارزش جهان فیزیکی باید «از نو متولد شد.»

همزمان با افزودن جزئیات بیشتر به متن کتاب، نوه‌ام لوک متولد شد. در مدت آماده کردن پیش نویس شاهد چندماهی از اوایل زندگی او بودم. می‌دیدم که او چگونه با چشمان باز، دست‌های خود را مطالعه می‌کرد و شروع به پی‌بردن به این کرد خود او آن‌ها را کنترل می‌کند. من شاهد لذتی بودم که از طریق آن، او داشت ایجاد ارتباط و چنگ زدن به اشیاء جهان بیرونی را یاد می‌گرفت. من تجربه کردن او را با اشیاء، انداختن و جستجوی آن‌ها و تکرار آن برای خودش (و تکرار آن برای خودش ...) را تماشا می‌کردم، گویی از نتایج مطمئن نبود اما با پیدا کردن آن‌ها، خنده رضایت بر لبانش نقش می‌بست.

از این راه و چندین راه دیگر، می‌توانستم ببینم که لوک مدلی از جهان برای خود می‌سازد. او با کنجکاوی سیری‌ناپذیر و چند تصور قبلی، به آن راه می‌برد. از راه برهم‌کنش با جهان، او چیزهایی را که بیشتر بزرگسالان مسلم می‌پندارند یاد گرفت، مثل تقسیم جهان به خود و غیر-خود، مثل این واقعیت که افکار می‌توانند حرکات خود را و نه حرکات غیر-خود را کنترل کنند و اینکه ما می‌توانیم بدون تغییر خاصیت اجسام، به آن‌ها نگاه کنیم.

کودکان مثل دانشمندانی کوچک هستند، تجارب کسب شده را نقاشی می‌کنند. اما تجربه انجام‌شده‌ی آن‌ها می‌کنند با استانداردهای علم مدرن کاملاً

خام و ابتدایی هستند. کودکان بدون تلسکوپ، میکروسکوپ، اسپکتروسکوپ، مگنتومتر، شتاب‌دهنده‌ی ذرات، ساعت اتمی یا هر ابزار دیگری که ما برای ساختن حقیقی‌ترین و دقیق‌ترین مدل خود از عالم استفاده می‌کنیم، کار می‌کنند. تجربه‌ی آن‌ها به ناحیه کوچکی از دما محدود می‌شود؛ آن‌ها در جوّی غوطه‌ورند که ترکیب شیمیایی و فشار بسیار خاصی دارد؛ گرانش زمین آن‌ها را (و همه چیز پیرامون آن‌ها را) به پایین می‌کشد اما سطح زمین نگه‌شان می‌دارد... و مانند آن.

کودکان مدلی از جهان می‌سازند که به تجربه‌ای که در محدوده‌ی ادراک و جهان پیرامون آن‌ها هست دلالت می‌کند. برای مقاصد عملی این نقشه‌ی خوبی است. وقتی ما کودک هستیم، برای سروکارداشتن با جهان روزمره، گرفتن درس از آن، کارآمد و معقول است.

اما علم مدرن جهانی فیزیکی را آشکار می‌کند که با جهانی که به عنوان کودکان مدل کردیم بسیار متفاوت است. اگر بار دیگر خود را، کنجکاو و بدون تصور قبلی در معرض جهان قرار دهیم ــ اگر به خود اجازه‌ی تولدی دوباره را بدهیم ــ جهان را بگونه‌ی دیگری خواهیم فهمید.

چند چیز را باید یاد بگیریم. جهان از اجزاء سازنده معدودی ساخته شده است که از قواعد مشخص اما عجیب و ناآشنایی پیروی می‌کنند.

چند چیز را باید فراموش کنیم.

فراتر از همه، مکانیک کوانتومی روشن می‌کند که شما نمی‌توانید چیزی را بدون تغییر آن مشاهده کنید. هر شخص پیام‌های واحدی را از جهان خارج دریافت می‌کند. تصور کنید شما و دوستتان در یک اتاق خیلی تاریک نشسته‌اید و نور کم سویی را می‌بینید. نور را مثلاً با پوشاندن آن با استفاده از لباس خود، ضعیف و ضعیف‌تر کنید. نهایتاً هر دوی شما روشنایی مختصر و متناوبی را خواهید دید. اما روشنایی را در زمان‌های متفاوتی خواهید دید. نور به کوانتاهای منفردی شکسته شده است و کوانتا را نمی‌شود تسهیم کرد. در این سطح بنیادین، ما جهان‌های متمایزی را تجربه می‌کنیم.

روان‌فیزیک آشکار می‌کند که خودآگاهی بیشتر کنش‌ها را جهت‌دهی نمی‌کند، اما در عوض گزارش‌های آن را از یک واحد ناخودآگاه که کار را انجام می‌دهد، پردازش می‌کند. با استفاده از تکنیکی که به شبیه‌سازی مغناطیسی

برون جمجمه‌ای (TMS) معروف است، این امکان هست که مراکز موتور سمت چپ یا راست مغز را در مغز کسی، در جهت تجربه کننده شبیه‌سازی کنیم. یک سیگنال درست شکل داده‌شده‌ی TMS به مرکز موتور سمت راست باعث تکان ناگهانی مچ دست چپ می‌شود حال آنکه سیگنال مناسب TMS به موتور چپ باعث تکان ناگهانی مچ دست راست می‌گردد. آلوارو پاسکوال لئون این تکنیک را به‌طور ماهرانه‌ای در آزمایشی ساده به کار گرفت که معانی عمیقی داشت. در پی اشاره‌ای، او از افراد شرکت کننده در آزمایش پرسید که آیا خواسته‌اند مچ دست راست را تکان ناگهانی بدهند یا چپ را. سپس آن‌ها آموزش دیدند که تحت دریافت اشاره‌ای اضافی به قصد خود عمل کنند. افراد تحت کنترل در یک اسکنر مغز قرار داشتند طوری که آزمایشگر می‌توانست مناطق موتوری آماده کننده‌ی تکان ناگهانی را تماشا کند. اگر آن‌ها تصمیم به حرکت مچ راست گرفته بودند، منطقه موتوری سمت چپ آن‌ها فعال بود؛ اگر تصمیم به حرکت مچ چپ گرفته بودند، منطقه موتوری سمت راست آن‌ها فعال بود. از این راه، این امکان وجود داشت که قبل از اینکه حرکتی رخ دهد، پیش‌بینی شود که چه انتخابی صورت گرفته است.

اکنون پیچیدگی افشا کننده‌ای پدیدار می‌شد. پاسکوال لئون گاهی TMS را بر خلاف (و از قرار معلوم، باطل) انتخاب فرد اعمال می‌کرد. حرکت مچ فرد چیزی از کار در می‌آمد که TMS تحمیل می‌کرد، نه آنکه فرد در آغاز انتخاب کرده بود. موضوع جالب توجه، نحوه توضیح افراد از آنچه بود که رخ داده است. افراد تحت آزمایش گزارش نکردند که نیرویی خارجی آنان را در اختیار داشته است. آنان گفتند که «ما تصمیم خود را عوض کردیم.»

مطالعه‌ی دقیق موضوع روشن می‌کند که مغز ما و بدن ما ــ پلتفرم فیزیکی «نفس» ما ــ در مقابل تمام الهامات، از همان خمیره‌ی «نه‌ـخود» ساخته شده است و در پیوستگی با آن قرار دارد.

در شتاب ما برای سردرآوردن از چیزها، مانند کودکان، ما می‌آموزیم که جهان را و خودمان را غلط بفهمیم. در سفر به درکی عمیق، چیزهای زیادی برای فراموش کردن و همین‌طور چیزهای زیادی برای یاد گرفتن وجود دارند.

VI

فرآیند تولد دوباره می‌تواند موجب سرگشتگی شود. اما مانند سواری ترن هوایی می‌تواند نشاط بخش باشد و این هدیه را می‌آورد که: برای کسانی که در راه علم تولدی دوباره یافته‌اند، جهان تازه، درخشان و به‌طور حیرت‌انگیزی سرشار می‌نماید. آنان از دید ویلیام بلیک چنین زندگی می‌کنند:

برای دیدن جهان در دانه‌ای شن
و بهشت در گلی وحشی
بینهایت را در کف دست
و ابدیت را در ساعتی نگه‌دار

مقدمه

I

جهان هستی جای عجیبی است.

برای نوزادان نورسیده، دنیا شلوغی گیج کننده‌ای را عرضه می‌کند. در مرتب کردن هر چیزی سرجایش، نوزاد به زودی یاد می‌گیرد که بین پیام‌هایی که از جهان درون می‌آیند و آن‌ها که از بیرون ناشی می‌شوند، تمایز بگذارد. دنیای درون شامل هر دو نوع احساس، مانند گرسنگی، درد، سلامتی، خواب آلودگی و عالم آخرت رویاهاست. در درون آن همچنین افکار شخصی، مانند آنچه نگاه خیره‌ی او را، فهم او را و به زودی حرف زدن او را جهت می‌دهند، وجود دارند.

دنیای بیرونی ساختاری پیچیده و منطقی است. نوزاد ما بسیاری از وقت خود را صرف ساختن آن می‌کند. او یاد می‌گیرد که الگوهای پایدار در دریافت خود را که برخلاف بدن خودش، به‌طور قابل اعتمادی به افکار خودش پاسخ نمی‌دهند، شناسایی کند. او این الگوها را به اشیاء سازماندهی می‌کند. او یاد می‌گیرد که این اشیاء تا حدودی به‌طور قابل پیش‌بینی رفتار می‌کنند.

سرانجام نوزاد ما، که اکنون کودکی است، تعدادی از اشیاء را شبیه خود می‌یابد که می‌تواند با آن‌ها ارتباط برقرار کند. بعد از تبادل اطلاعات با این موجودات، او متقاعد می‌شود که آن‌ها نیز جهان‌های درونی و بیرونی را تجربه می‌کنند و جالب اینکه همه‌ی آن‌ها، از اشیاء زیادی به‌طور مشترک استفاده می‌کنند و آن اشیاء از قاعده‌های یکسانی پیروی می‌کنند.

II

فهمیدن اینکه چگونه جهان مشترک بیرونی را کنترل کنیم ــ به بیان دیگر جهان

فیزیکی را ــ البته مسئله‌ای عملی، حیاتی و دارای جنبه‌های متنوعی است. برای مثال در یک جامعه‌ی شکارچی-گردآور، کودکان ما باید بیاموزند که کجا آب پیدا کنند؛ کدامیک از گیاهان و جانوران برای خوردن خوب هستند و چگونه باید آن‌ها را پروراند یا شکار کرد؛ چگونه باید غذا پخت و آماده کرد و بسیاری از واقعیت‌ها و مهارت دیگر.

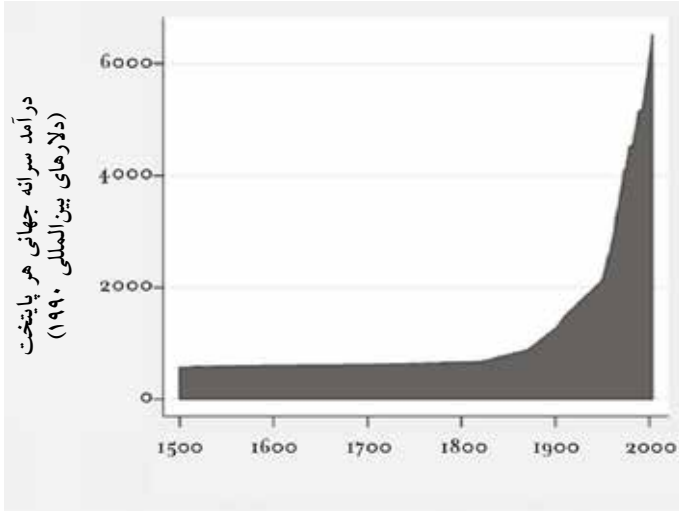
در جوامع پیچیده‌تر، چالش‌های دیگری بروز می‌کنند، مانند چگونگی ساختن ابزارهای تخصصی، چگونگی بنا کردن ساختارهای بادوام و چگونگی آگاه بودن از گذشت زمان. راه‌حل‌های موفق به مسائلی که جهان فیزیکی ایجاد می‌کند، در طول نسل‌ها کشف، در میان گذاشته و انباشته شده‌اند. برای هر جامعه‌ای آن‌ها به «فناوری» آن جامعه تبدیل شده‌اند.

جوامع غیرعلمی اغلب فناوریهای غنی و پیچیده‌ای را توسعه می‌دهند. بعضی از این فناوری‌ها مردم را در محیط‌های دشوار، مانند قطب و صحرای کالاهاری کامیاب کرده‌اند ــ و هنوز هم می‌کنند. فناوری‌های دیگر، ساخته شدن شهرهای بزرگ و آثار تاریخی تحسین‌برانگیزی مثل اهرام مصر و آمریکای مرکزی را موجب شده‌اند.

مقدم بر پیدایش روش علمی، در بیشتر طول تاریخ انسان، توسعه فناوری‌ها اتفاقی بوده است. فنون موفق کم و بیش در اثر حادثه‌ای کشف شدند. یک بار که به‌طور اتفاقی به آن‌ها برخورد می‌شد، به شکل دستورالعمل‌ها، رسوم و سنت‌های بسیار خاص منتقل می‌شدند. آن‌ها به شکل دستگاهی منطقی نبودند و هیچ تلاشی برای اصلاح آن‌ها نمی‌شد.

فناوری‌هایی که بر «قوانین مبتنی بر تجربه» متکی بودند، به مردم توان بقا، تکثیر و لذت بردن از فرصت‌های به دست آمده و رضایت از زندگی دادند. برای بیشتر مردم، در بیشتر فرهنگ‌ها و در بخش عمده‌ای از تاریخ تمدن، این کافی بود. راهی برای مردم وجود نداشت که بدانند چه کمبودی دارند یا آنچه که در زندگی آن‌ها مفقود است، می‌تواند برای‌شان مهم باشد.

اما اکنون می‌دانیم که گمشده‌های زیادی داریم. شکل زیر که توسعه‌ی بهره‌وری انسان را با زمان نشان می‌دهد خود، گویای داستان است و دقیقاً این موضوع را نشان می‌دهد.



III

رهیافت مدرن به فهم جهان در اروپا در قرن هفدهم آغاز شد. پیش از آن پیش‌بینی‌های ناتمام در اروپا و دیگر جاها وجود داشت. اما منظومه‌ای از پیشرفت‌های بزرگ معروف به انقلاب علمی، مثال‌های الهام‌بخش از آنچه می‌توانست از طریق دستاوردهای ذهن خلاق انسان با جهان فیزیکی ارتباط برقرار کند، فراهم شد و روش‌ها و رویکردهایی که به این پیشرفت‌ها منجر شد، مدل‌های روشنی برای کاوش بعدی به دست داد. با این انگیزه، علم طوری که ما آن را می‌شناسیم متولد شد و هیچ‌گاه به عقب نگاه نکرد.

قرن هفدهم شاهد پیشرفت‌های نظری و فناورانه‌ی پرماجرایی در بسیاری زمینه‌ها شد، مانند طراحی ماشین‌های مکانیکی و کشتی‌ها، ابزارهای اپتیکی (بخصوص میکروسکوپ و تلسکوپ) ساعت و تقویم. به عنوان یک نتیجه‌ی مستقیم، با دیدن چیزهای بیشتر، مردم می‌توانستند قدرت بیشتری به کار گیرند و امور خود را به‌طور قابل اطمینان‌تری نظم دهند. اما چیزی که به اصطلاح انقلاب علمی را منحصربفرد و کاملاً سزاوار این نام می‌کند، کمتر عینی و ملموس است. این تغییری در چشم‌انداز بود: انگیزه‌ای جدید، اعتمادی جدید.

روش کپلر، گالیله و نیوتون، انضباط فروتنانه‌ی توجه به واقعیت‌ها و آموختن از طبیعت را با شهامت نظام‌مند استفاده از چیزی که فکر می‌کنید جسورانه یاد گرفته‌اید، ترکیب می‌کند، چیزی که آن را در هر جا که بتوانید به کار می‌برید، حتی در وضعیت‌هایی که به فراسوی شواهد اولیه خود مراجعه می‌کنید. اگر کار کند، چیز مفیدی کشف کرده‌اید؛ اگر کار نکند، چیز مهمی یاد گرفته‌اید. من این رویکرد را محافظه‌کاری افراطی نامیده‌ام و برای من این نوآوری اساس انقلاب علمی است.

محافظه‌کاری افراطی محافظه‌کار است زیرا ما را بر آن می‌دارد که از طبیعت یاد بگیریم و به واقعیت‌ها احترام بگذاریم ــ جنبه‌های اصلی چیزی که روش علمی نامیده می‌شود. اما همچنین افراطی هم هست، زیرا آنچه را که یاد گرفته‌اید با تمام قدرت به پیش می‌راند. این امر برای نحوه کارکرد علم اهمیت کمتری ندارد و علم پیشرو را تجهیز می‌کند.

IV

این دورنمای جدید قبل از همه، با توسعه در موضوعی الهام شد که در آن، حتی قرن هفدهم به عهد باستان پیوند خورده و به خوبی شکل گرفته بود: مکانیک آسمانی، توضیح اینکه اجسام چگونه در آسمان حرکت می‌کنند.

مدت‌ها پیش از شروع تاریخ مکتوب، مردم چنان نظم‌هایی، مانند تغییر شب و روز، چرخش فصل‌ها، فازهای ماه و حرکت منظم ستارگان را تشخیص داده بودند. با پیشرفت کشاورزی، در دست داشتن توالی فصول، برای کاشت و برداشت در مناسب‌ترین زمان، اهمیت حیاتی پیدا کرد. انگیزه‌ی نیرومند، هرچند گمراه دیگری، برای مشاهدات دقیق این باور بود که زندگی انسان مستقیماً با آهنگ‌های موزون کیهانی ارتباط دارد: طالع‌بینی (astrology). در هر حال به ترکیبی از دلایل ــ از جمله کنجکاوی ساده ــ مردم آسمان را با دقت مطالعه کردند.

معلوم شد که اکثریت وسیعی از ستارگان به روشی که به‌طور معقولی ساده و قابل پیش‌بینی است حرکت می‌کنند. امروزه ما حرکت ظاهری ستارگان را ناشی از چرخش زمین به دور محور خود تفسیر می‌کنیم. «ستارگان ثابت» چنان دور هستند که تغییرات نسبتاً کوچک در فواصل آن‌ها، چه ناشی از حرکت خود

آن‌ها و چه در اثر حرکت زمین به دور خورشید، با چشم غیر مسلح نادیدنی است. اما تعداد کمی اشیاء ــ خورشید، ماه و چند سیاره‌ی سرگردان شامل عطارد، ونوس، مریخ، مشتری و زحل که با چشم غیر مسلح قابل رویت هستند ــ از این قاعده تبعیت نمی‌کنند.

ستاره‌شناسان باستان طی چندین نسل، موقعیت این اشیاء مخصوص را ثبت کردند و سرانجام یاد گرفتند چگونه تغییرات آن‌ها را با دقت نسبتاً خوب پیش‌بینی کنند. این کار مستلزم محاسباتی در هندسه و مثلثات بود که از دستورالعمل‌های پیچیده ولی کاملاً روشنی پیروی می‌کرد. بطلمیوس (۱۷۰ـ۱۰۰ میلادی) این یافته‌ها را در متنی ریاضی به نام المجسطی خلاصه کرد. (مجسط در یونانی صفت برترین با معنای «بزرگترین» است. ریشه‌ی آن همان «مجستیک» است. ال، حرف تعریف عربی است.)

ترکیب بطلمیوس دستاوردی شکوهمند بود اما دو کاستی داشت. یکی پیچیدگی آن بود که در نتیجه‌ی آن، کتاب بی‌قواره شده بود. به‌طور اخص، دستورالعمل‌هایی که برای محاسبه‌ی حرکات سیارات به کار رفته بود، در اعداد بسیاری مطرح شده بود که به‌طور خالص با خوراندن محاسبات به مشاهدات، بدون اصول راهنمای عمیق‌تر که بین آن‌ها ارتباط ایجاد کند، تعیین شده بود. کپرنیک (۱۵۴۳ـ۱۴۷۳) متوجه شد که مقادیر بعضی از این اعداد به‌طور تعجب‌آوری از راهی ساده با هم ارتباط دارند. این رابطه‌های تصادفی در صورتی‌که فرض می‌شد زمین به همراه ونوس، مریخ، مشتری و زحل همگی حول خورشید به عنوان مرکز می‌گشتند، می‌توانستند به‌طور هندسی توضیح داده شوند (ماه هم به دور زمین می‌چرخید).

دومین کاستی کار بطلمیوس سرراست‌تر بود: کار بطلمیوس دقیق نبود. تیکو براهه (۱۶۰۱ـ۱۵۴۶) در پیش‌بینی امروزین «علم بزرگ»، ابزارهای حساسی طراحی و مقدار زیادی پول صرف ساختمان رصدخانه‌ای کرد که مشاهدات دقیق‌تری از موقعیت سیارات را امکان‌پذیر سازد. مشاهدات جدید انحرافات غیرقابل تردیدی را از پیش‌گویی‌های بطلمیوس نشان داد.

یوهانس کپلر (۱۶۳۰ـ۱۵۷۱) عزم خود را جزم کرد تا مدلی هندسی از حرکت سیارات ارائه کند که هم ساده و هم دقیق باشد. او ایده‌های کپرنیک

را به کار گرفت و تغییرات فنی مهمی در مدل بطلمیوس پدید آورد. به‌طور علمی، او اجازه‌ی انحراف مسیر حرکت سیارات به دور خورشید از دایره‌ی ساده به بیضی را داد طوری که خورشید در یکی از کانون‌های آن واقع می‌شد. او همچنین آهنگ چرخش سیارات به دور خورشید را با فاصله‌ی آن‌ها از خورشید متغیر فرض کرد، به طریقی که آن‌ها مساحت‌های مساوی را در زمان‌های مساوی جاروب کنند. بعد از این اصلاحات، نظام منظومه‌ای به شکل قابل توجهی ساده‌تر و کارکرد آن بهتر شد.

در همان حال بر روی سطح زمین، گالیلئو گالیله‌ئی (۱۶۴۲ـ۱۵۶۴) مطالعات دقیقی روی شکل‌های ساده‌ی حرکت، مانند حرکت غلتشی توپ‌ها به سمت پایین سطح شیب‌دار و اینکه آونگ‌ها چگونه نوسان می‌کنند، انجام داد. این مطالعات ساده با کنار هم گذاشتن اعداد مربوط به موقعیت‌ها و زمان‌ها، برای پاسخ دادن به پرسش‌هایی در نحوه کارکرد جهان به طرز اسف‌باری ناکافی به نظر می‌رسیدند. مسلماً برای بیشتر معاصران آکادمیک گالیله که به پرسش‌های بزرگ فلسفی علاقه داشتند، این مطالعات پیش پا افتاده به نظر می‌رسیدند. اما گالیله اشتیاق نوع دیگری از فهمیدن را داشت. او می‌خواست به جای فهمیدن همه‌چیز به صورت مبهم و سربسته، چیزی را دقیقاً بفهمد. او جستجو کرد و فرمولهای ریاضی مشخصی را پیدا کرد که مشاهدات فروتنانه او را به‌طور کامل توصیف می‌کردند.

ایزاک نیوتون (۱۷۲۷ـ۱۶۴۳) حرکت سیارات با قوانین هندسی کپلر و توصیف دینامیکی حرکت بر سطح زمین گالیله را در هم آمیخت. او نشان داد که قوانین حرکت سیارات کپلر و نظریه گالیله در مورد حرکات خاص به بهترین نحو به عنوان حالت‌های خاص قوانین عمومی‌تر، قوانینی که به حرکات تمام اجسام در هر جا و هر زمانی صادقند، فهمیده می‌شوند. نظریه‌ی نیوتون، که اکنون ما آن را مکانیک کلاسیک می‌نامیم، با توضیح دادن جزر و مد روی زمین، پیشگویی مسیر ستاره‌های دنباله‌دار و توانمندسازی شاهکارهای جدید مهندسی، از موفقیتی به موفقیت دیگر دست یافت.

کار نیوتون، با مثالی متقاعدکننده، نشان داد که می‌توان پرسش‌های بزرگ را با انباشته کردن از فهم مفصل موارد ساده، پاسخ داد. نیوتون این روش را تحلیل